

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 10255305 A

(43) Date of publication of application: 25 . 09 . 98

(51) Int. Cl

G11B 7/135

(21) Application number: 09058800

(71) Applicant: HITACHI LTD

(22) Date of filing: 13 . 03 . 97

(72) Inventor: SHIMANO TAKESHI
ARIMOTO AKIRA

(54) OBJECTIVE LENS AND OPTICAL HEAD USING
THE SAME

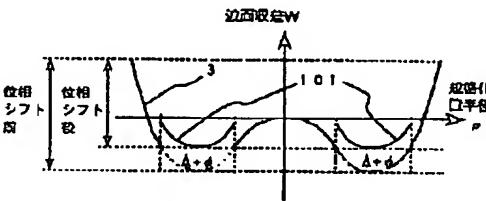
thickness.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To inexpensively and accurately reproduce optical disks having their different substrates in thickness without a loss of a quantity of reproducing light by adding an annular phase shifter for reducing aberrations of both two converged spots which are different in wavelength to an objective lens to form one body.

SOLUTION: At the time of reproducing the CD having its substrate 1.2mm thick with a laser beam of a wavelength 780nm, by adding a doughnut-like annular phase shift area 101 to the objective lens for the DVD, a spherical aberration caused by a substrate thickness difference 0.6mm from the DVD is reduced. Moreover, by adding an opposite annular shifter of a negative phase $-&\phi;$ opposite to a phase difference $&\phi;$ generated at the time of reproducing the CD to an area other than the annular phase shifter area in order that a phase is shifted only by the CD, so as not to increase the aberration at the time of reproducing the DVD, the aberrations of the converged spots on the CD and the DVD are reduced. Furthermore, by combining divided lenses, optimization can be carried out on the substrate



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-255305

(43)公開日 平成10年(1998)9月25日

(51)Int.Cl.⁶
G 11 B 7/135

識別記号

F I
G 11 B 7/135

A

審査請求 未請求 請求項の数 5 O.L (全 13 頁)

(21)出願番号 特願平9-58800

(22)出願日 平成9年(1997)3月13日

(71)出願人 000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 島野 健
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 有本 昭
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

(74)代理人 弁理士 小川 勝男

(54)【発明の名称】 対物レンズおよびそれを用いた光ヘッド

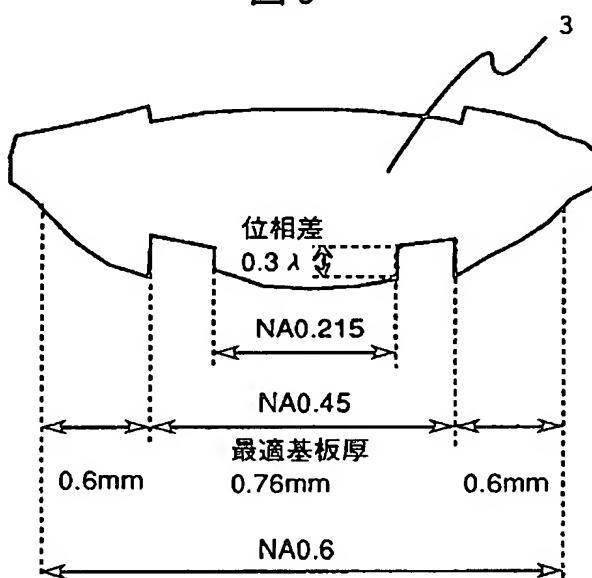
(57)【要約】

【課題】 光量の損失なく、安価に、精度よく1つのレンズで、波長780nmの光で基板厚さ1.2mmのCDを再生し、波長650nmの光で基板厚さ0.6mmのDVDを再生する。

【解決手段】 輪帶位相シフタを用いる。またはそれとレンズ内外で無収差となる基板厚が異なる対物レンズを最適に組み合わせる。

【効果】 波長650nmのレーザ光で基板厚0.6mmのDVDを、波長780nmのレーザ光で基板厚1.2mmのCDを、制限開口を必要とすることなく1つのレンズで再生することが可能となり、小型で安価な光ヘッドを提供できる。

図8



【特許請求の範囲】

【請求項1】2つの波長のレーザ光をそれぞれの波長において異なる厚さの基板ごしに集光する対物レンズであって、それぞれの波長の集光スポットの収差とともに低減させる輪帶状の位相シフタを該対物レンズと一体として付加したことを特徴とする対物レンズ。

【請求項2】2つの波長のレーザ光を、それぞれの波長において異なる厚さの基板ごしに集光する対物レンズであって、該対物レンズの内側と外側で収差なく集光するための基板厚さが異なるレンズに、それぞれの波長の集光スポットの収差とともに低減させる輪帶状の位相シフタを該レンズと一体として付加したことを特徴とする対物レンズ。

【請求項3】波長の異なる2つの半導体レーザと、そのそれぞれの波長の光を異なる基板厚さの光ディスクに集光する請求項1または2に記載の対物レンズと、光ディスクからの反射光を該半導体レーザから該光ディスクまでの光路から分岐させる分岐手段と、該分岐手段によって分岐された反射光から集光スポット位置制御信号と再生信号を検出するための検出手段から少なくとも構成される光ヘッド。

【請求項4】波長の異なる2つの半導体レーザと、そのそれぞれの波長の光を異なる基板厚さの光ディスクに集光する対物レンズと、それぞれの波長の集光スポットの収差をともに低減させる輪帶状の位相シフタと、光ディスクからの反射光を該半導体レーザから該光ディスクまでの光路から分岐させる分岐手段と、該分岐手段によって分岐された反射光から集光スポット位置制御信号と再生信号を検出するための検出手段から少なくとも構成される光ヘッド。

【請求項5】波長の異なる2つの半導体レーザと、そのそれぞれの波長の光を異なる基板厚さの光ディスクに集光する内側と外側で収差なく集光するための基板厚さが異なる対物レンズと、それぞれの波長の集光スポットの収差をともに低減させる輪帶状の位相シフタと、光ディスクからの反射光を該半導体レーザから該光ディスクまでの光路から分岐させる分岐手段と、該分岐手段によって分岐された反射光から集光スポット位置制御信号と再生信号を検出するための検出手段から少なくとも構成される光ヘッド。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光記録媒体から光学的に情報を再生する光ディスク装置に係り、特に基板厚さが異なる光ディスクからそれぞれ異なる光波長の光源を用いて信号を再生する光ヘッドおよびそれに用いる対物レンズに関する。

【0002】

【従来の技術】光ディスクは大容量可換情報記録媒体として近年めざましく進歩を続けている。そのため記録再

生方式や記録密度、ディスクサイズが多岐にわたっており、それらの互換性の確保が困難となりつつある。特にこれまで最も普及しているのがCD (Compact Disc) であり、これと再生互換性のある記録可能なCDであるCD-R (Compact Disk - Recordable) も付随的して普及している。新たな光ディスクの開発にあたってはこれらCD、CD-Rとの互換性の要求が大きい。これらに続く次世代高密度ROMとして、最近DVD (Digital Video Disk) が発売された。ここでは記録密度を向上させるために対物レンズの開口数 (Numerical Aperture:N A) を従来CDの0.45から0.6に向上させていく。光ディスク上の集光スポットの大きさは使用するレーザ光源の波長を λ としたとき、 $\lambda / N A$ に比例するため、波長を短く、NAを大きくすればそれにしたがって光スポットを小さくすることができる。光スポットが小さければ高密度の情報ピットを品質良く再生することができるので、光ディスクの記録密度を向上させることができるのである。そこでDVDではまず使用する半導体レーザ波長をCDの780nmから650nmとしている。ところが一方、NAの増大は、ディスクが傾いたときに生じるコマ収差を急激に増大させ、光スポットをかえって劣化させるため、むやみに行うことができない。そこでDVDは基板厚さをCDの1.2mmから0.6mmに薄くして、NA増大とともにそれによるディスク傾きのコマ収差を抑えている。ところが基板の厚さをCDと変えてしまうとDVD専用の対物レンズでCDを再生するときに今度は球面収差が生じて光スポットがぼけてしまう。光ディスク用の対物レンズでは特定の基板厚さに対応してそれを補償する球面収差を持つようにあらかじめ設計されているからである。

【0003】この問題を解決する従来の手段は例えばオプティカル・レビュー第1巻第1号1994年27-29頁 (Optical Review, Vol. 1, No. 1 (1994) pp. 27-29.) に記載されている。ここでは0.6mm用対物レンズ表面にホログラムを形成し、その回折光によってCDを再生し、透過光によってDVDを再生するというものである。ここではCDを再生するときに生じる球面収差を補償するようにホログラムのパターンをあらかじめ設計しておくのである。しかしながらこれにおいてはホログラムを使用するため、CDを再生するときにもDVD用の光スポットが生じ、DVDを再生するときにもCD用の光スポットが生じる。またディスクで反射した光も再び回折されてしまう。これらにより光量の損失が避けられないという欠点がある。

【0004】第2の従来例は三菱電機ニュース・リリース、開発No. 9507 (平成7年6月21日) に記載されている。これは0.6mm用の対物レンズと、1.2mm用の対物レンズを両方光ヘッドに搭載し、可動アクチュエータによって2つのレンズを切り替えて使用するというものである。しかしこれにおいては2つのレンズを切り替えるた

め、レンズを2個使用することによるコストの増大、レンズの位置の再現性や、アクチュエータが大きく、重くなることによる応答特性の劣化などの問題がある。

【0005】第3の従来例は日経エレクトロニクス1996年1月29日号(No. 654) 15-16頁に記載されている。ここでは液晶による制限開口を設け、CDの再生にあたってはNAを0.35まで小さくして収差を小さくしている。しかしここではCD、DVDとも波長635nmの半導体レーザを用いているため、CDのNAをここまで低減できたが、780nmより短い波長の光では反射率が著しく低下するCD-Rの再生時にはこの方法は使えないという欠点がある。

【0006】第4の従来例は、特願平7-342203に記載されている。これは本発明者らによって発明された方法であるが、波長650nmでDVDとCDの両方の互換をとるために、対物レンズの内側と外側で最適化する基板厚を変えるというものである。しかしCDを波長780nmで再生する場合にはこの分割のNAを少なくともNA0.45以上にする必要があり、この場合にはDVDを再生するときの収差が非常に大きくなってしまうという欠点があった。

【0007】これに鑑み、本発明の目的は光量の損失なく、安価に、精度よく波長780nmの光で基板厚さ1.2mmのCDを再生し、波長650nmの光で基板厚さ0.6mmのDVDを再生することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】前記の課題を解決するために本発明においては、2つの波長のレーザ光を異なる基板厚さの光ディスクに集光するにあたって、それぞれの波長の集光スポットの収差をともに低減させる輪帶状の位相シフタを該対物レンズと一緒に付加させる。

【0009】あるいは対物レンズの内側と外側で収差なく集光するための基板厚さが異なるレンズに、2つの波長のレーザ光の集光スポットの収差をともに低減させる輪帶状の位相シフタを該レンズと一緒に付加させる。

【0010】またあるいは光ヘッドとして、2つの波長の半導体レーザと、光ディスクからの反射光を半導体レーザから光ディスクまでの光路から分岐させる分岐手段と、これによって分岐された反射光から集光スポット位置制御信号と再生信号を検出するための検出手段から少なくとも構成される光ヘッドでそれぞれの波長の光を異なる基板厚さの光ディスクに集光するのにあたって上記の対物レンズを用いる。

【0011】またあるいは波長の異なる2つの半導体レーザと、そのそれぞれの波長の光を異なる基板厚さの光ディスクに集光する対物レンズと、光ディスクからの反射光を該半導体レーザから該光ディスクまでの光路から分岐させる分岐手段と、該分岐手段によって分岐された反射光から集光スポット位置制御信号と再生信号を検出

するための検出手段から少なくとも構成される光ヘッドにおいて、それぞれの波長の集光スポットの収差をともに低減させる輪帶状の位相シフタを付加する。

【0012】またあるいは波長の異なる2つの半導体レーザと、光ディスクからの反射光を該半導体レーザから該光ディスクまでの光路から分岐させる分岐手段と、該分岐手段によって分岐された反射光から集光スポット位置制御信号と再生信号を検出するための検出手段から少なくとも構成される光ヘッドにおいて、それぞれの波長の光を異なる基板厚さの光ディスクに集光する内側と外側で収差なく集光するための基板厚さが異なる対物レンズを用い、それぞれの波長の集光スポットの収差をともに低減させる輪帶状の位相シフタを付加する。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例を図を用いて説明する。

【0014】図1は本発明による対物レンズの基本的なイメージ図である。本発明によるDVD用対物レンズ1は通常のDVD用対物レンズにドーナツ状の輪帶位相シフト領域101が付加されている。輪帶位相シフト領域101は薄膜を装荷してもよいし、最初からレンズをそのような形状に直接加工しても良い。通常のDVD用のレンズは基板厚0.6mmのときに無収差となるように設計されているので、波長650nmのレーザ光でDVDを再生するときにはこの位相シフタによって加わる収差をなるべく小さくなるようにする。これに対して、波長780nmのレーザ光で基板厚1.2mmのCDを再生するときには、基板厚誤差0.6mmにより発生する球面収差を低減するようとする。

【0015】以下、定性的に収差が低減することを説明する。図2に焦点位置が最適化された場合の球面収差の波面形状概略図を示す。ここで横軸は対物レンズの瞳の半径座標、縦軸は波面収差量である。CDとDVDの基板厚の違いにより、DVD専用レンズでCDを再生する場合の光スポットは概略このような4次関数で表されるような波面形状となる。これに対して、輪帶状に位相シフトをさせた場合の波面形状の概略図を図3に示す。位相シフトにより収差の最大値が小さくなっていることがわかる。

【0016】ところが一方、このレンズを用いてDVDを再生する場合にDVDの収差が大きくなつてはならない。そのための1つの方法としては、CDを再生する波長とDVDを再生する波長の違いを用いて、CDでのみ位相がシフトし、DVDでは位相がシフトしないようにすればよい。そのためにはCD再生波長を λ_1 、DVD再生波長を λ_2 、CD再生時に生ずる位相差を ϕ として、

【0017】

【数1】

$$n(\lambda_1 + \phi) = m\lambda_2 \quad (n, m \text{は整数})$$

【0018】を満たすように整数m、nを選択すればよい。またこれで適当なm、nがない場合には位相シフトのさせかたを図4のようにしてもよい。この場合は輪帶領域を除いたそれ以外の領域に $-\phi$ の位相シフトを加えることにより、図3と同じ波面形状を実現できる。したがってこの場合は、

【0019】

【数2】

$$n(\lambda_1 - \phi) = m\lambda_2 \quad (n, m \text{は整数})$$

【0020】を満たしていればよい。これにより例えば λ_1 を780 nm、 λ_2 を650 nmとすれば、それにおける位相差 ϕ は図5のようになる。このように位相差を選べば、DVDの波面にまったく影響を与えないCD再生時の球面収差を低減することができる。ここで逆輪帶位相シフタは空気よりも屈折率の大きい膜を付加する場合など位相ずれを位相遅れによって実現する場合を念頭においていた命名である。レンズをかけるなど位相*

$$\begin{aligned} \frac{\text{スポット中心強度}}{\text{瞳入射全光量}} &= \frac{\left| \int_0^{2\pi} \int_0^R e^{i\phi(r,\theta)} r dr d\theta \right|^2}{\int_0^{2\pi} \int_0^R r dr d\theta} \\ &= \frac{\left| \int_0^{2\pi} \int_0^R e^{i\phi(r,\theta)} r dr d\theta \right|^2}{\left| \int_0^{2\pi} \int_0^R r dr d\theta \right|^2} \cdot \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^R r dr d\theta}{\int_0^{2\pi} \int_0^R r dr d\theta} \\ &= I_{st} \frac{(\pi R^2)^2}{\pi R^2} = I_{st} \pi R^2 \end{aligned}$$

【0023】のようにストレール強度とレンズ全開口半径で規格化した制限開口半径Rの2乗の積に比例することがわかる。以下、このストレール強度に規格化制限開口半径の2乗をかけた値を η とする。通常のCDピックアップでは波長780 nm、対物レンズNA 0.45であるのでDVDの対物レンズNA 0.6に対しては無収差であれば、 $\eta = 1 \times (0.45 / 0.6)^2 = 0.56$ 、マレシャルの基準によるストレール強度下限値0.8では $\eta = 0.45$ となる。基板厚誤差による球面収差は4次の球面収差が

【0024】

【数4】

$$W_{40} = \frac{d}{8} \frac{n^2 - 1}{n^3} (NA)^4$$

【0025】6次の球面収差が

【0026】

【数5】

*それを位相進みによって実現できる場合には輪帶領域を直接ければよい。これはどちらでも等価であるが、以後はこの場合も含めて逆輪帶位相シフタと呼ぶことにする。

【0021】以下、輪帶位相シフタの形状、及び位相差の最適化について説明する。光スポットの評価指標としては無収差スポットの中心強度で規格化した収差のある光スポットの中心強度であるストレール強度があるが、これだと制限開口がある場合のNAの違いが現れない。

そこで制限開口がある場合も含めて、対物レンズの瞳に入射する全光量に対するスポット中心強度の比を新たな評価指標とする。これを用いると例えば同じ口径でもNAが大きく、スポット径が小さくて中心強度が大きい方がこの評価指標が大きいことになる。この評価指標は

【0022】

【数3】

$$W_{60} = \frac{d}{32} \frac{n^4 + 2n^2 - 3}{n^5} (NA)^6$$

※【0027】で与えられる。ただしこれらの式におけるnは屈折率を表している。これらを用いて半径R1からR2までの位相を ϕ 遅らせる輪帶位相シフタをえた収差は

【0028】

【数6】

$$W = \begin{cases} W_{60}p^6 + W_{40}p^4 + W_{20}p^2 + W_{00} & (0 \leq p \leq R_1, R_2 \leq p) \\ W_{60}p^6 + W_{40}p^4 + W_{20}p^2 + W_{00} + \phi & (R_1 \leq p \leq R_2) \end{cases}$$

【0029】のように表せる。またストレール強度は

【0030】

【数7】

$$I_{st} = 1 - \left(\frac{2\pi}{\lambda} W_{rnd} \right)^2$$

$$= 1 - \left\{ \frac{2\pi}{\lambda} (\bar{w}^2 - (\bar{w})^2) \right\}$$

7

【0031】のように近似できるから、これより η を最大とする R_1 、 R_2 、 ϕ 、制限開口の NA 、 W_{20} 、 W_{00} を求める。実際には数式処理ソフトを用いて、 W_{20} 、 W_{00} は解析的に求め、 R_1 、 R_2 、 ϕ 、制限開口の NA を数値的に求めた。その結果、位相シフタの内径は $NA_0.20$ 、外径は $NA_0.42$ 、制限開口の NA を 0.46 とし、位相差を 0.265λ ($\lambda = 780\text{nm}$) のとき、 $\eta = 0.48$ が最大となり、マレシャルの基準による $\eta = 0.45$ を上回っていることがわかった。一方、位相シフタを用いず、制限開口のみで最適化すると $NA_0.39$ で $\eta = 0.34$ が最大であった。つまり $NA_0.45$ に換算すれば、ストレール強度で 0.61 から 0.86 まで改善したことに相当する。この位相差に対して DVD 再生時に生じる収差は RMS 波面収差で 0.033λ ($\lambda = 650\text{nm}$) であった。これはほぼレンズの加工精度と同等であり、実際上問題は生じないと考えられる。

【0032】この最適な位相差 0.265λ を先に述べた DVD に影響を与えない位相差と比較すると、最も近いのは $m=2$ 、 $n=1$ のときの逆輪帶位相マスク、または $m=4$ 、 $n=3$ のときの輪帶位相マスクの 0.333λ であることがわかる。しかし m が大きくなると位相差を生じさせる膜、あるいはレンズの段差が厚くなり、半導体レーザに波長ずれが生じた場合の位相差のずれが大きくなるので、ここでは逆輪帶位相マスクの方が望ましい。この DVD に影響を与えない位相差に固定した場合の位相シフタの形状を求めるとき、内径が $NA_0.20$ 、外径が $NA_0.44$ 、制限開口 $NA_0.48$ のとき、 $\eta = 0.47$ が最大となった。これは上記の最適な位相差と比べてほとんど遜色ない。

【0033】以上では制限開口を用いるという前提で説明をしたが、これは必ずしも実際の開口を必要とするこことを意味しない。実際には RMS 波面収差を評価関数として最適な焦点位置を求めるときの、瞳の評価範囲を指定するのとほぼ等価であると考えられる。制限開口の範囲内でなるべく RMS 波面収差が小さくなるように焦点ずれを調整したとすると、制限開口の範囲外の光は当然収差が大きくなり、波面の傾斜も大きくなる。このためそのような領域の光線は焦点からは大きくはずれた位置で焦点面と交差する。したがって集光スポットに対して、このような光線は存在しないのとほぼ等価となる。

【0034】このように輪帶位相シフタのみを用いた場合に、スポット性能は改善されるものの、 $NA_0.45$ でのストレール強度換算で 0.86 相当では、光学部品のずれや、ディスクの傾き、焦点ずれなどによるスポットの劣化を見込むと必ずしも十分でない可能性がある。

8

そこでさらにこれに組み合わせてレンズの内側と外側で最適化する基板厚を変える。以下これを分割レンズと呼ぶ。これは発明者らによって波長 650nm で DVD と CD の両方の互換をとる方法として発明された（特願平7-342203）が、CD を波長 780nm で再生する場合にはこの分割の NA を少なくとも $NA_0.45$ 以上にする必要があり、この場合には DVD を再生するときの収差が非常に大きくなってしまうという欠点があった。そこで位相シフタと分割レンズを組み合わせて、位相シフタ形状、位相差、内外分割半径、内側基板厚を同時に最適化したところ、分割レンズで発生する波長 780nm での CD 再生時の収差と、波長 650nm での DVD 再生時の収差を両方とも低減し、CD のスポット性能がさらに改善される解があることがわかった。以下これについて説明する。

【0035】分割レンズと位相シフタを組み合わせた場合の波面収差は

【0036】

【数8】

$$W = \begin{cases} W_{601}\rho^6 + W_{401}\rho^4 + W_{201}\rho^2 + W_{001} & (0 \leq \rho \leq R_1) \\ W_{601}\rho^6 + W_{401}\rho^4 + W_{201}\rho^2 + W_{001} + \phi & (R_1 \leq \rho \leq R_2) \\ W_{602}\rho^6 + W_{402}\rho^4 + W_{202}\rho^2 + W_{002} + \phi & (R_2 \leq \rho \leq R_3) \\ W_{602}\rho^6 + W_{402}\rho^4 + W_{202}\rho^2 + W_{002} & (R_3 \leq \rho \leq R_4) \end{cases}$$

【0037】のように表せる。ここでは R_1 が輪帶位相シフタ内径、 R_2 が分割半径、 R_3 が輪帶位相シフタ外径、 R_4 が制限開口半径である。分割半径を境として無収差となるためのディスク基板厚が異なり、外側では DVD に合わせて 0.6mm 、内側では最適化によってこれが 0.6mm と 1.2mm の間となる。したがってそれにともなって球面収差の収差係数 W_{60} 、 W_{40} が添字 1、2 をつけて異なるように表示されている。また焦点ずれ W_{201} 、 W_{202} は分割の内外で RMS 波面収差を最小にするように球面収差量から決まり、定数項 W_{001} 、 W_{002} は分割の内外で波面収差の平均値が同じになるようにして決まり、全体の RMS 波面収差を最適化する。 W_{201} と W_{202} 、 W_{001} と W_{002} の差はレンズ内外の対応基板厚差で決まり、 W_{202} 、 W_{002} を与えられた位相シフタの条件下で RMS を最小とする条件から、数式処理ソフトで解析的に求めることで W_{201} と W_{001} も求めた。さらに与えられた内側対応基板厚、分割半径 R_2 について、 R_1 、 R_3 、 R_4 、位相差を数値的に変えて η を最大とする条件を求めた。その結果を図 6 に示す。ここで横軸は分割レンズの分割半径、縦軸は η であり、中心部基板厚を変えて最適条件での計算結果をプロットしている。またグラフ中に CD の無収差と、ストレール強度 0.8 相当の下限レベル、上記の最適位相シフタ、固定位相シフタを波線で示している。これらは分割レンズを用いていないのでこのグラフ上にはポイントではプロットできない。一方、このと

きDVD再生で生じるRMS波面収差を図7に示した。図6と図7を見比べるとわかるように中心部基板厚を1.2mmに近づければ近づけるほどCDの性能は上がり、DVDの収差は増大する。したがってこれらのポイントの内、どこを最適点として採用するかは、システムのいろいろなマージンの配分によって判断が分かれる。しかし例えば中心基板厚0.76mm、分割の境界のNA0.45のときの、CD性能 $\eta=0.526$ (CDストレール強度換算0.94)、DVDのRMS波面収差0.03程度であればほぼ許容できるのではないかと考えられる。このポイントではCD性能の最大値と、DVD収差の最小値が一致している。またこのとき輪帶位相シフタの位相差は0.2985λ($\lambda=780\text{nm}$)、内径はNA0.2145であり、外径はNA0.45で分割の境界のNAと一致していた。図8に逆輪帶位相マスク作りつけの分割レンズ模式図を示す。逆輪帶マスクがレンズに作りつけであるため、輪帶位相マスクの領域が凹んでいる。このときディスク側の比較的曲率がゆるやかな面にも分割レンズによる段差を示しているが、これは設計上、像側のみにすることも可能である。

【0038】図9にCD再生波長のずれによるCD再生スポット性能 η の値を示す。横軸の範囲は±20nmあるが、実際に、温度変化などですれる波長範囲は±10nm程度と考えられる。この範囲だと $\eta=0.53$ から波長ずれ-10nmで $\eta=0.52$ 程度の劣化があり、NA0.45でのストレール強度換算で0.93から0.92程度の変化で、ほとんど影響はない。図中には先に述べた最適輪帶位相シフタ、固定輪帶位相シフタについても合わせて表示している。

【0039】図10は波長650nmでのDVD再生時の波長ずれに対するRMS波面収差であり、分割レンズと最適位相シフタを組み合わせた場合、収差は0.030λから、波長ずれ-10nmで0.036λまで増加している。これも十分、許容範囲内と考えられる。また図中には先に述べた最適輪帶位相シフタ、固定輪帶位相シフタについても合わせて表示している。固定位相シフタについてはDVDでは収差が発生しないような位相差が選ばれているので、波長ずれ0で収差は0となっている。最適位相シフタのみについては位相差がDVDで収差を生じない位相差からずれているため、その位相差になる波長ずれ量に向けて線形に波面収差が変化している。

【0040】図11は波長780nmによるCD再生時の波面収差形状を示している。それぞれ制限開口のNA範囲で焦点ずれを最適化し、横軸はNA0.6の全開口にわたる瞳の半径座標で示しているため、周辺部は収差が非常に大きくなっている。またそのとき縦軸は±0.5λの範囲内に折り畳んで表示しているため、周辺部は急激に振動しているように見えている。これらは制限開口のみで最適化した場合に比べてより広いNAで収差が

抑えられている。また制限開口NAの範囲の外側の波面の立ち上がりも急峻となっており、収差の大きいことによる制限開口の効果もより顕著となることが期待される。

【0041】図12は波長650nmによるDVD再生時の波面収差である。図11での制限開口のみの場合と、固定位相シフタのみの場合には波面収差は完全に0となるので、ここでは分割レンズと最適位相シフタを組み合わせた場合と、最適位相シフタのみの場合を表示している。収差のまったく発生しない最外周部分でも収差が0となっていないことから、全体に若干焦点ずれを生じさせていることがわかる。これは位相シフタで発生した位相差を収差と考えた場合に、若干焦点ずれさせた方が全体のRMS波面収差が小さくなるためである。いずれにせよグラフ縦軸の値はかなり小さく、波面形状の特異さは實際上影響を及ぼさない程度のRMS波面収差に抑えられている。

【0042】図13にスポット形状の計算結果を示す。グラフの横軸はスポットのピーク強度に対して $e \times p$

(-2)倍の強度のスポットの全幅、縦軸はサイドロープの強度を中心強度で規格化した値である。したがってスポット、サイドロープ共に小さい方が望ましいので、プロット点がグラフの左下に近いほど分解能が高いスポットであるということができる。ここで対物レンズの瞳の強度分布としては対称なガウス分布を仮定し、瞳におけるガウス分布の中心の強度に対して $e \times p$ (-2)倍の強度の範囲の幅に対するレンズ口径の比が0.1、レンズの中心部分の強度に対する周辺部分の強度が0.98となる場合の計算結果である。図中白抜きの丸印が無収差のCDであり、これに近いほどCDと同レベルの再生性能が期待できる。黒い四角は通常のDVDレンズに制限開口のみを用いた場合であり、実際に制限開口を挿入した場合、その焦点位置でそのまま制限開口をとりはらった場合、制限開口をとりはらってスポット中心強度が最大となるように焦点位置をずらした場合の3つのプロット点がある。この場合はいずれも無収差CDよりもスポット分解能が劣っている。黒い三角印は最適輪帶位相シフタのみを挿入した場合であり、同様にして3つのプロット点がある。制限開口のみに比べてスポット径はかなり改善しているが、制限開口がないとサイドロープがかなり大きくなっている。白抜きの四角は分割レンズと最適輪帶位相シフタを組み合わせた場合である。同様にして3つのプロット点があるが、この3つがかなり接近していることがわかる。つまりこの場合には制限開口はあってもなくてもほとんど変わらず、仮想的な制限開口の範囲外の光の収差が急峻に増大しているためスポット形成には実質的に影響を与えていないことがわかる。この場合光スポットはCD無収差に比べてスポット径がやや小さく、サイドロープが若干大きめとなっている。これでスポット性能の評価指標であった η の値がCDと

ほぼ同等から若干劣る程度であったのは、おそらく、サイドローブを低減しきれていない影響をスポット径を小さくして相殺している状況となっているのではないかと推測される。一方DVDを再生する場合のスポットの計算結果を白抜きの三角とひし形でグラフの左下にプロットしている。ひし形がDVDを無収差で再生するスポット、三角が最適分割レンズと最適位相シフタを組み合わせた場合である。DVDについてはほとんど同じスポット形状となっている。

【0043】図14に光ヘッドの実施例を示す。半導体レーザ4からの光をコリメートレンズ5により平行光としてビーム成形プリズム61、62により楕円ビームを円形ビームとする。ビーム成形プリズムは光学系の効率が十分高いか、ディスクのトラックピッチがディスク上の光スポットの主ロープと第1暗線の間隔より広い場合に、取り除いた方が部品点数、隣接トラッククロストーク低減のために有利となる場合もある。さらにこの光はビームスプリッタ71を透過し、さらに立ち上げミラー8により反射され、2次元アクチュエータ9に搭載された本発明による対物レンズ3により光ディスク上に集光される。光ディスクはCDでもDVDでもよい。2次元アクチュエータ9はトラッキング誤差信号により、ディスク半径方向に可動し、光スポットをトラック上に位置決めし、焦点誤差信号により光軸方向に可動し、焦点位置をディスク上に位置決めする。反射光は再び、対物レンズ3、立ち上げミラー8を経由して、ビームスプリッタ71を反射し、検出光学系に導かれる。ビームスプリッタ72を透過した光は集光レンズ111により集光光束とされ、ビームスプリッタ73に入射する。ここでは透過光はシリンドリカルレンズ12を透過し、4分割光検出器13に入射する。この分割検出器の対角成分の和信号どうしの差動信号を差動増幅器141により出力し、焦点ずれ信号とする。一方ビームスプリッタ73で反射した光は2分割光検出器15に入射し、それぞれの出力の差動信号を差動増幅器142により出力することにより、トラッキング誤差信号を得る。またビームスプリッタ72を反射した光は集光レンズ112により光検出器16に集光され光電変換された信号は、アンプ17で増幅され再生信号を得る。再生信号はサーボ信号検出用のディテクタの出力の和信号から検出しても差し支えない。この場合、信号帯域まで検出した信号をローパスフィルタなどで帯域制限してサーボ信号を検出すればよい。サーボ検出光学系は一例であり、他の方式を用いることも可能である。

【0044】以上では輪帶位相シフタは対物レンズに作りつけられている実施例を説明してきたが、図15はDVD専用の対物レンズ18と、独立した輪帶位相シフタ19をハイブリッドに一体化して2次元アクチュエータ*

*に搭載した実施例である。ここでは図14の立ち上げミラーからディスクまでの光学系に相当する部分だけを置き換えることを想定し、その部分だけを示した。

【0045】

【発明の効果】輪帶位相シフタ、またはそれとレンズ内外で無収差となる基板厚が異なる対物レンズを最適に組み合わせることにより、波長650nmのレーザ光で基板厚0.6mmのDVDを、波長780nmのレーザ光で基板厚1.2mmのCDを、制限開口を必要とすることなく1つのレンズで再生することが可能となり、小型で安価な光ヘッドを提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による対物レンズの基本的なイメージ図。

【図2】球面収差波面形状。

【図3】輪帶位相シフタによる波面収差形状。

【図4】逆輪帶位相シフタによる波面収差形状。

【図5】DVDに影響のない条件でのCDの位相シフト量。

【図6】分割レンズと位相シフタを組み合わせた場合のCD再生スポット性能。

【図7】DVD再生で生じるRMS波面収差。

【図8】最適逆輪帶位相シフタ作りつけの分割レンズ形状模式図。

【図9】CD再生波長のずれによるCD再生スポット性能の変化。

【図10】DVD再生時の波長ずれに対するRMS波面収差。

【図11】CD再生時の波面収差形状。

【図12】DVD再生時の波面収差形状。

【図13】スポット形状の計算結果。

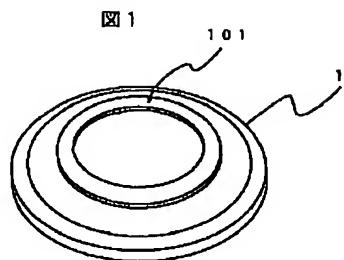
【図14】光ヘッドの実施例。

【図15】対物レンズと輪帶位相シフタがハイブリッドに一体化された実施例。

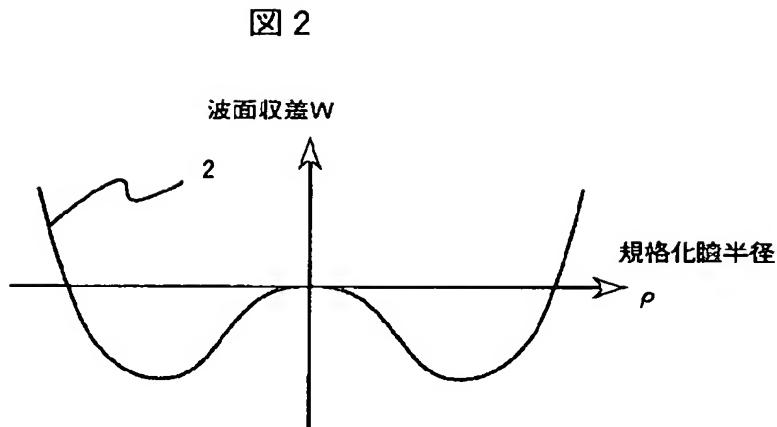
【符号の説明】

1…輪帶位相シフタつき対物レンズ、101…輪帶位相シフト領域、2…球面収差波面、102…逆輪帶位相シフト領域、3…逆輪帶位相シフタ一体型分割レンズ、4…半導体レーザ、5…コリメートレンズ、61、62…ビーム成形プリズム、71、72、73…ビームスプリッタ、8…立ち上げミラー、9…2次元アクチュエータ、10…光ディスク、111、112…集光レンズ、12…シリンドリカルレンズ、13…4分割ディテクタ、141、142…差動アンプ、15…2分割ディテクタ、16…ディテクタ、17…アンプ、18…DVD用対物レンズ、19…輪帶位相シフタ。

【図1】

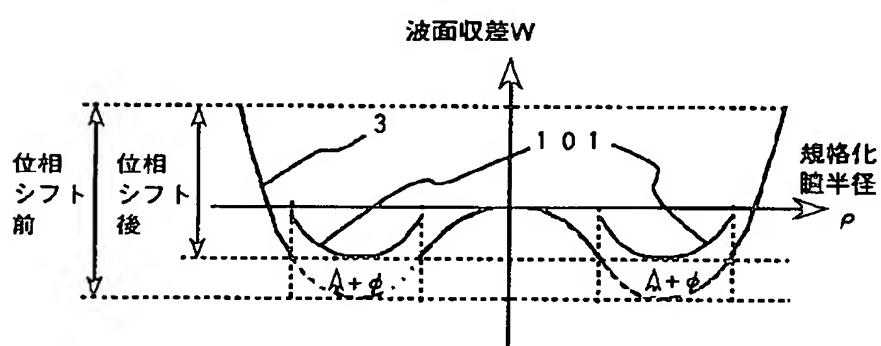


【図2】

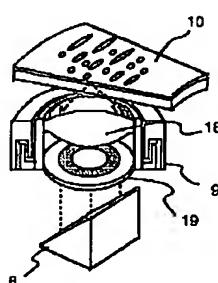


【図3】

図3

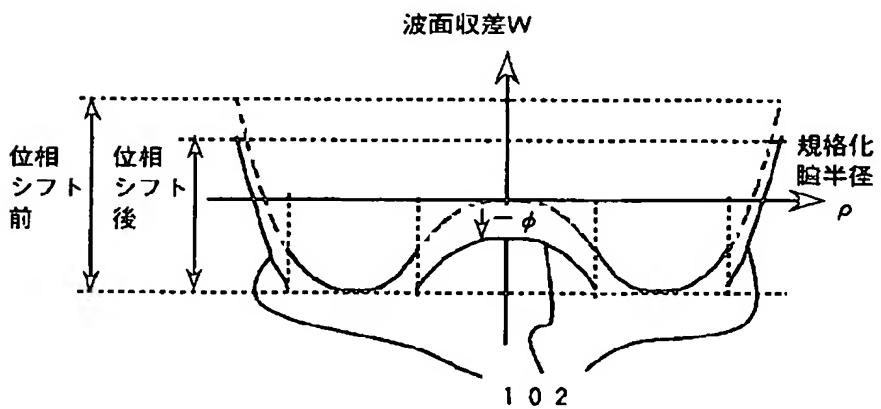


【図15】



【図4】

図4



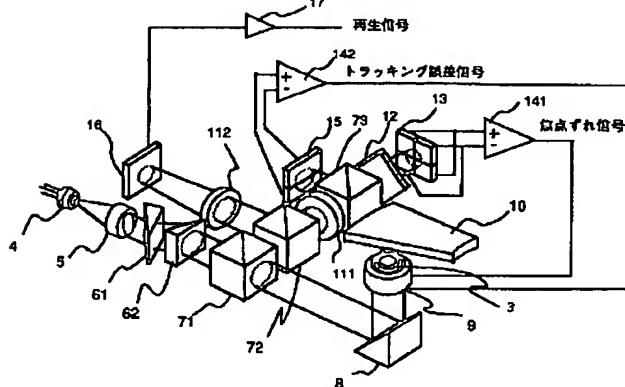
【図5】

図5

| m | n | 位相差 ϕ (λ) | |
|---|---|--------------------------|---------|
| | | 輪帶 | 逆輪帶 |
| 1 | 1 | -0.1667 | 0.1667 |
| 2 | 1 | -0.3333 | 0.3333 |
| 3 | 2 | 0.5 | -0.5 |
| 4 | 3 | 0.3333 | -0.3333 |
| 5 | 4 | 0.1667 | -0.1667 |
| 6 | 5 | 0 | 0 |

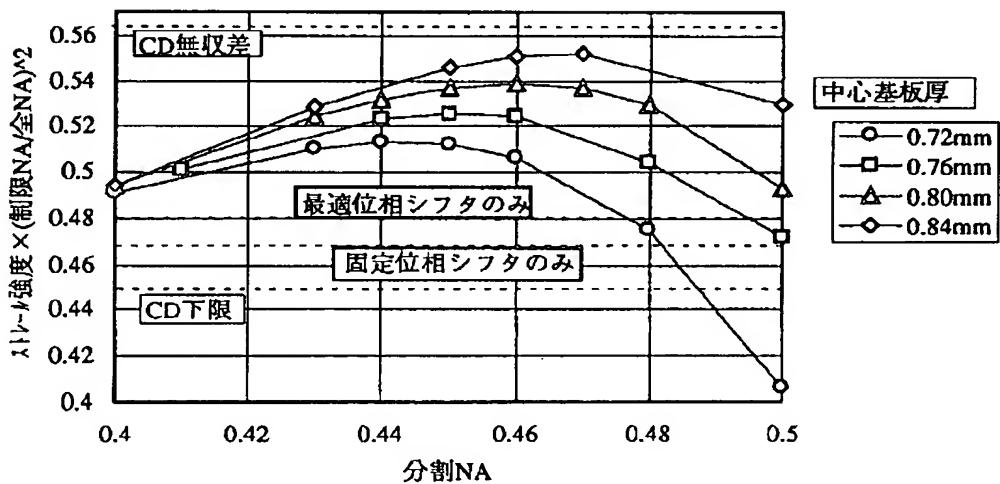
【図14】

図14



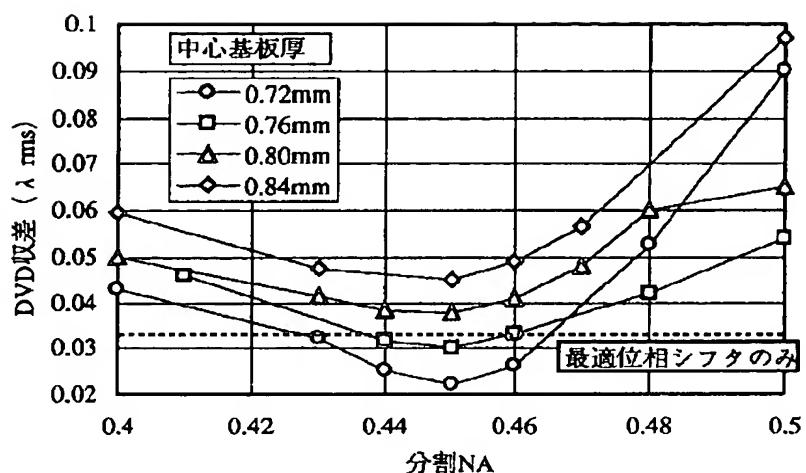
【図6】

図6



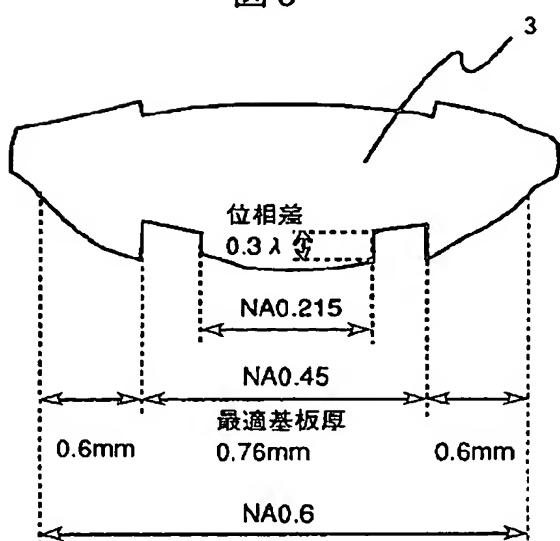
【図7】

図7



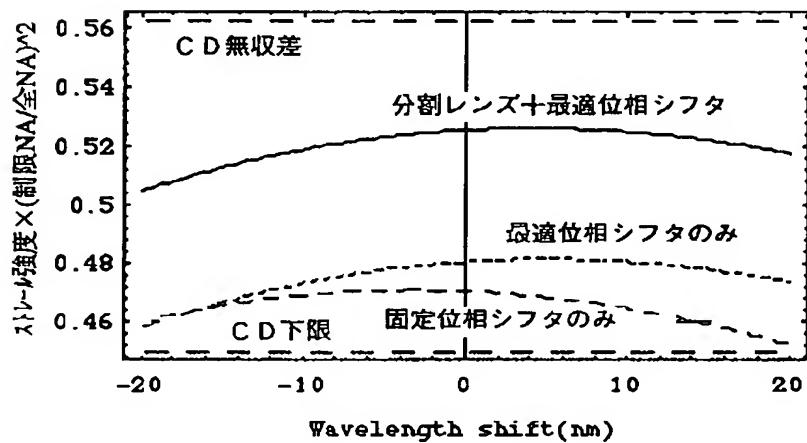
【図8】

図8



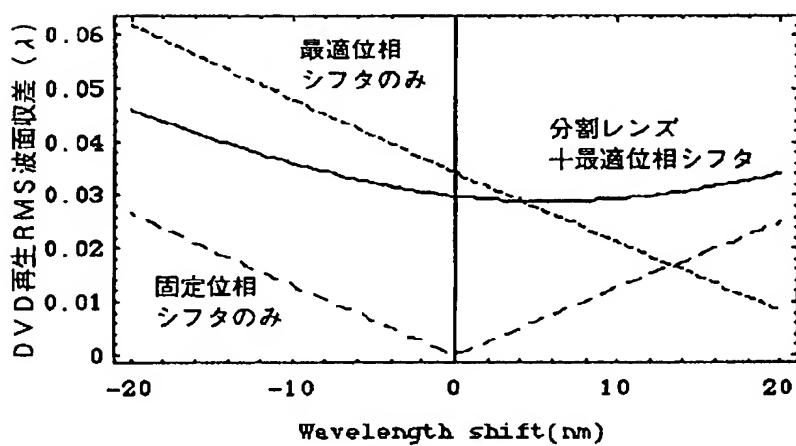
【図9】

図9



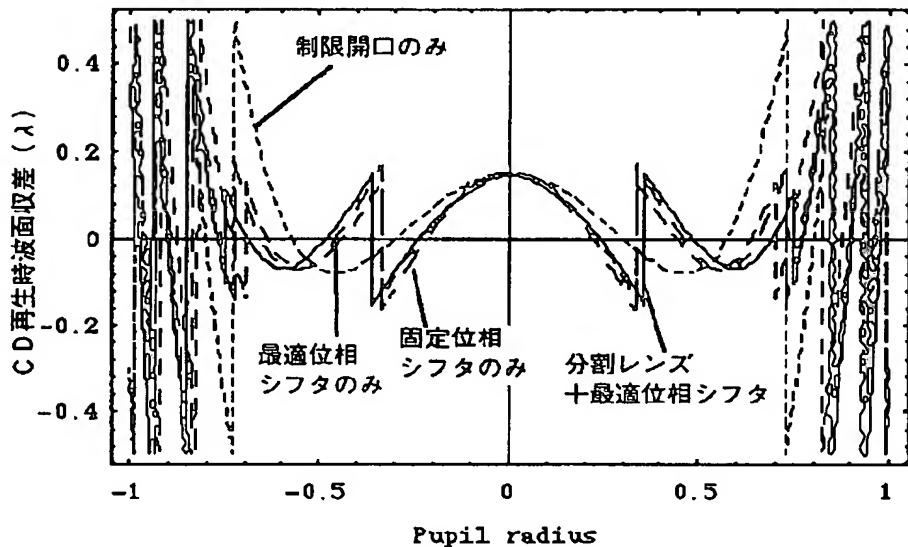
【図10】

図10



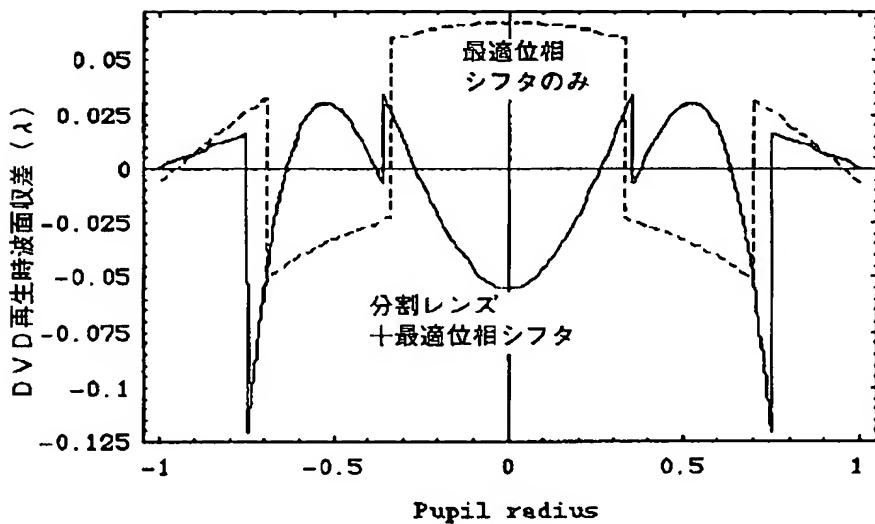
【図11】

図11



【図12】

図12



【図13】

図13

